

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN  
EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad  
Intelectual  
Oficina internacional



(43) Fecha de publicación internacional  
8 de Noviembre de 2001 (08.11.2001)

PCT

(10) Número de Publicación Internacional  
WO 01/84636 A1

(51) Clasificación Internacional de Patentes<sup>7</sup>: H01L 31/04,  
31/042, 31/052, 31/0328, 31/0352

(72) Inventor; e

(75) Inventor/Solicitante (para US solamente): ALGORA  
DEL VALLE, Carlos [ES/ES]; Instituto de Energía Solar,  
Etsi Telecomunicación, Ciudad Universitaria, E-28040  
Madrid (ES).

(21) Número de la solicitud internacional: PCT/ES01/00167

(22) Fecha de presentación internacional:

27 de Abril de 2001 (27.04.2001)

(81) Estado designado (nacional): US.

(25) Idioma de presentación:

español

(84) Estados designados (regional): patente europea (AT, BE,  
CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,  
NL, PT, SE, TR).

(26) Idioma de publicación:

español

(30) Datos relativos a la prioridad:

P 200001088 27 de Abril de 2000 (27.04.2000) ES

Publicada:

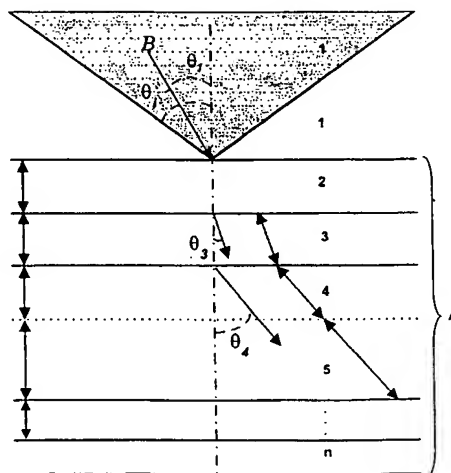
- con informe de búsqueda internacional
- con reivindicaciones modificadas

(71) Solicitante (para todos los Estados designados salvo  
US): UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
[ES/ES]; Ramiro de Maeztu, 7, E-28040 Madrid (ES).

Para códigos de dos letras y otras abreviaturas, véase la sección  
"Guidance Notes on Codes and Abbreviations" que aparece al  
principio de cada número regular de la Gaceta del PCT.

(54) Title: HIGH EFFICIENCY PHOTOVOLTAIC CONVERTER FOR HIGH LIGHT INTENSITIES MANUFACTURED WITH  
OPTOELECTRONIC TECHNOLOGY

(54) Título: CONVERTIDOR FOTOVOLTAICO DE ALTA EFICIENCIA PARA INTENSIDADES LUMINOSAS ELEVADAS  
FABRICADO CON TECNOLOGIA OPTOELECTRONICA



(57) Abstract: The invention concerns photovoltaic converters that work under high intensity light and provide high efficiency. Said converters generate photovoltaic electricity at low costs, which is a very interesting for the photovoltaic industry. They can be used in thermophotovoltaic systems and remote supply systems via optical fiber. The converter is characterized by the following features: a) its semiconductor layers are made of compounds III-V; b) photolithography is used to manufacture it and c) its size ranges from a few tenths to tens of square millimeters. Other optoelectronic techniques may be used for manufacturing such as wire welding, separation of the converters on one same wafer by sawing, point cutting and cleavage. Its design parameters are estimated by means of multivariable optimization. The situation in which the incident light has the shape of a cone and originates from a medium with any given refraction index is taken into account in the operating conditions.

[Continúa en la página siguiente]

BEST AVAILABLE COPY

WO 01/84636 A1

**(57) Resumen:** Se trata de convertidores fotovoltaicos que trabajan bajo luz de intensidad elevada y logran una alta eficiencia. Producen electricidad fotovoltaica a costes reducidos, lo que es de gran interés para la industria fotovoltaica. Su aplicación puede extenderse a sistemas termofotovoltaicos y sistemas de telealimentación por fibra óptica. El convertidor se caracteriza porque a) sus capas semiconductoras son de compuestos III-V, b) se utiliza fotolitografía para su fabricación y c) su tamaño está comprendido en el rango que va de las décimas a las decenas de milímetros cuadrados. Para su fabricación se pueden utilizar otras técnicas optoelectrónicas como la soldadura por hilo, la separación de los convertidores sobre una misma oblea por serrado, corte con punta y clivado. Sus parámetros de diseño se calculan mediante optimización multivariable. Entre las condiciones de funcionamiento se considera la situación en la que luz incidente tenga forma de cono y proceda de un medio con cualquier índice de refracción.

## TITULO

Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas  
fabricado con tecnología optoelectrónica

### 5 DESCRIPCIÓN

Se describe un convertidor fotovoltaico que transforma luz de intensidad elevada en electricidad con una eficiencia alta. Su fabricación está basada en procesos estándar de la industria optoelectrónica. El coste reducido de la electricidad que produce radica en la utilización de luz de intensidad elevada, en su alta eficiencia de conversión o rendimiento  
10 (definido como la fracción de potencia eléctrica producida por el convertidor respecto de la potencia luminosa incidente) en relación con las eficiencias que suelen obtenerse cuando el convertidor trabaja bajo luz de intensidad elevada y en el bajo coste del proceso de fabricación optoelectrónico.

### 15 ESTADO DE LA TECNICA ANTERIOR

Una de las estrategias más prometedoras de la industria fotovoltaica para conseguir una reducción del precio de la electricidad es la utilización de la concentración. La concentración se basa en la utilización de elementos ópticos que aumentan la intensidad de la luz solar que recibe la célula solar (convertidor fotovoltaico). De esta forma, se  
20 intercambia el material semiconductor de la célula solar por material óptico que es mucho más barato. Existen otras aplicaciones en las que un convertidor fotovoltaico transforma luz de intensidad elevada. Las más notorias son: a) la transformación de luz monocromática proveniente de un láser y canalizada a través de una fibra óptica, en la que la intensidad de luz es elevada, no porque se haya concentrado por métodos ópticos sino  
25 por la irradiancia elevada del láser, y b) la conversión de luz infrarroja (calor) en electricidad, que se denomina conversión termofotovoltaica, en la que la intensidad de la radiación puede ser elevada en función de la fuente calorífica, entendiéndose por intensidad elevada la que supere  $100 \text{ mW/cm}^2$ , que es el estándar promediado de la radiación solar sobre la Tierra. En este sentido y desde un punto de vista práctico que establezca una

diferencia más clara, en esta invención se entenderá por intensidades elevadas las superiores a  $1 \text{ W/cm}^2$  (10 veces la radiación solar media).

A lo largo de esta descripción y por motivos de simplicidad se entiende por luz la radiación ultravioleta, visible e infrarroja, de manera que la conversión fotovoltaica engloba también la termofotovoltaica. Por convertidor fotovoltaico se entiende un dispositivo semiconductor que transforma la luz en electricidad.

De los diversos materiales semiconductores, los compuestos III-V como el arseniuro de galio, antimoniuro de galio, arseniuro de galio y aluminio, etc., son especialmente adecuados para construir convertidores fotovoltaicos de alta eficiencia. Muchos de ellos funcionan eficientemente con luz de intensidad elevada. Así, en el momento presente, la eficiencia más elevada del mundo de células solares de silicio es el 26,8% bajo una intensidad luminosa equivalente de 96 soles, mientras que en el caso del arseniuro de galio es el 27,6% a 255 soles. Como se observa, aunque las eficiencias son parecidas, las intensidades luminosas a las que se obtienen son muy diferentes, siendo mucho mayor la del arseniuro de galio.

Sin embargo, esta situación de privilegio de los convertidores fotovoltaicos basados en semiconductores III-V no tiene un reflejo en la industria fotovoltaica actual. En primer lugar, apenas se fabrican células solares con semiconductores III-V debido a su coste elevado frente al silicio, salvo para aplicaciones espaciales donde el coste no es el principal elemento de decisión. En segundo lugar, la utilización de luz de intensidad elevada, que reduciría el coste, choca con la casi inexistencia de convertidores fotovoltaicos que funcionen eficientemente bajo intensidades luminosas elevadas. Dicha inexistencia se debe principalmente a: a) la resistencia serie del convertidor que al paso de fotocorrientes elevadas (producidas bajo luz intensa) provoca unas pérdidas óhmicas que deterioran la eficiencia global, y b) el calor desprendido por la elevada potencia luminosa incidente y, que en caso de no evacuarse eficientemente, también deteriora la eficiencia del convertidor, pudiendo llegar incluso a provocar su destrucción.

Tradicionalmente la fabricación se ha basado en un diseño óptimo de los convertidores fotovoltaicos que contemplaba la realidad de forma parcial. Por un lado, se optimizaba la estructura semiconductor con el objetivo de obtener la máxima eficiencia,

por otro se optimizaban las capas antirreflectantes con la idea de minimizar la reflectividad o de maximizar la transmitividad y, en paralelo, se optimizaba la malla de metalización frontal con el propósito de conseguir la resistencia serie mínima.

Estas tres fases del diseño, ligadas con otras tantas fases de la fabricación del  
5 convertidor fotovoltaico, se han llevado a cabo hasta ahora de forma independiente, salvo por el uso de algunas condiciones de ligadura impuestas artificialmente, lo que ha conducido a diseños que en ocasiones, se han alejado notablemente del óptimo. Los ejemplos son numerosos. Así, para el diseño de la estructura semiconductor se imponía que en el convertidor fotovoltaico entraba una cierta intensidad de luz sin saber  
10 exactamente la que las capas antirreflectantes permitirían que entrara realmente; en el diseño de la estructura semiconductor no se tenían en cuenta los valores de las resistencias específicas de contacto; nunca se determinó un área o tamaño óptimo del convertidor y tampoco se analizó el caso en el que la luz llegara al convertidor formando un cono, como ocurre, por ejemplo, siempre que se concentra la luz mediante elementos  
15 ópticos.

Por tanto, y dado el potencial que presentan los convertidores fotovoltaicos basados en semiconductores III-V, se desprende que si se encontrara la forma de fabricarlos a un precio reducido y de forma que funcionaran eficientemente bajo luz intensa, superando los problemas existentes hasta ahora tanto en su diseño como  
20 obtención, dichos convertidores fotovoltaicos se transformarían en un producto atractivo, por lo que adquirirían un interés industrial y comercial evidente.

#### EXPLICACION DE LA INVENCION

En consecuencia, esta invención incluye los procesos y procedimientos para la  
25 obtención de convertidores fotovoltaicos, que trabajando bajo luz intensa, posean las características siguientes:

a) *Obtención de una eficiencia elevada*, gracias a un diseño que por primera vez considera al convertidor globalmente, es decir, como el conjunto formado por su estructura semiconductor, sus contactos óhmicos, su geometría, su malla de metalización y sus

capas antirreflectantes, optimizando cada uno de estos elementos en relación con los demás, en vez de cada uno de forma aislada.

5      *b) Evacuación eficiente del calor*, debido al tamaño reducido del convertidor que aquí se propone (desde varias décimas de milímetro cuadrado hasta algunos milímetros cuadrados), calculándose el tamaño óptimo para cada concentración luminosa y para las características de la tecnología de fabricación disponible.

10      *c) Precio reducido*, merced a la utilización de tecnologías típicas de la industria optoelectrónica que mediante la reducción de costes ha extendido la utilización de dispositivos basados en semiconductores III-V como los diodos emisores de luz (en inglés LED's), diodos láser, fotodiodos, etc. Además, se trata de una industria en constante evolución, por lo que las nuevas técnicas que vayan apareciendo podrán ser utilizadas en la fabricación de los convertidores fotovoltaicos aquí propuestos.

15      Aunque las soluciones de los problemas citados (a, b y c) constituyen independientemente una novedad, es la utilización de las tres conjuntamente la que produce unos convertidores fotovoltaicos excelentes. Efectivamente, el diseño singular que se presenta determina un convertidor con unas características que no se podría fabricar sin la utilización de tecnologías optoelectrónicas. A su vez, el grado de desarrollo de estas tecnologías influye en el tamaño óptimo del convertidor y realimenta constantemente el diseño, el cual es capaz de adaptar la estructura óptima del convertidor en función de las condiciones externas de funcionamiento y de la tecnología de fabricación disponible. Por tanto, la estructura óptima del convertidor estará en función de las condiciones externas de funcionamiento y de la tecnología de fabricación disponible.

25      En esta patente se emplea la expresión "cono de luz" para referirse más fácilmente a la situación en la que el haz luminoso varía de tamaño en su camino hacia el convertidor. La forma final exacta dependerá, en buena medida, de la forma de la óptica de manera que si, por ejemplo, es circular el haz de luz tendrá forma aproximada de cono y si es cuadrada de pirámide. En aplicaciones de concentración la óptica es más grande que el convertidor pero la situación también puede ser a la inversa, es decir, que el convertidor sea mayor que el haz de luz. Tal es el caso de la luz láser saliente de una fibra óptica de algunas decenas de micra de diámetro que ilumine un convertidor de varios milímetros cuadrados, por

ejemplo. Esta es la situación habitual en los sistemas de telealimentación por fibra óptica. En consecuencia, estas situaciones de concentración/desconcentración y de formas reales diferentes del haz luminoso incidente sobre el convertidor se agruparán todas ellas bajo el término "cono de luz".

- 5 La densidad de corriente de iluminación de un convertidor fotovoltaico (véase figura 1) que recibe la luz de un medio (1) con un índice de refracción dado dentro de un cono que forma un ángulo ( $\theta_i$ ) con la normal es:

$$J_L(\theta_i) = \frac{q \int_0^{\theta_i} \int_{\lambda_{Luz}}^{\lambda_{EG}} [1 - F_s(\theta_i)] N_{ph}(\lambda) T(\theta, \lambda) \sin 2\theta QE(\theta, \lambda) d\theta d\lambda}{\sin^2 \theta_i} \quad [1]$$

- en donde la transmitividad,  $T(\theta, \lambda)$ , debe evaluarse para el rango de longitudes de onda que comparten la luz incidente ( $\lambda_{Luz}$ ) y la banda prohibida del semiconductor ( $\lambda_{EG}$ ). El resto de parámetros son la carga del electrón,  $q$ ; el factor de sombra de la malla de metalización frontal que es óptimo para un ángulo dado,  $F_s(\theta_i)$ ; el espectro de la luz incidente,  $N_{ph}(\lambda)$  y la eficiencia cuántica interna del convertidor fotovoltaico,  $QE(\theta, \lambda)$ , que es función de numerosos parámetros de la estructura semiconductor como espesores, dopajes, tiempos de vida, coeficientes de absorción, etc. La ecuación [1] es válida para un cono de luz con forma cónica e isotrópico en radiancia. De ahí surgen las funciones  $\sin 2\theta$  y  $\sin^2 \theta_i$ . Para otras formas, como las aludidas anteriormente, y otras distribuciones angulares de potencia luminosa incidente, la expresión de la ecuación [1] debería modificarse, estando su cálculo geométrico al alcance de cualquier experto. En todo caso, las conclusiones aquí obtenidas para la forma cónica son aplicables al resto de situaciones.

- Además de este cambio, la expresión habitual de la eficiencia cuántica debe modificarse ligeramente cuando la luz llega al convertidor (A) en forma de cono, ya que la luz al pasar desde el medio incidente hacia el convertidor fotovoltaico, experimenta un cambio de dirección (refracción). El ángulo que forma la luz con la normal en cada capa de semiconductor está gobernado por la Ley de Snell, por lo que dicho ángulo determina el camino que la luz sigue en cada capa. Por tanto, la luz no atraviesa las capas perpendicularmente, sino de forma oblicua, de manera que su recorrido es mayor. En consecuencia, estos recorridos que llamaremos espesores ópticos, han de sustituir a los

espesores de capa en la expresión de la eficiencia cuántica.

Conocida la expresión de  $J_L(\theta_i)$  a través de la ecuación [1], la característica  $J$ - $V$  (densidad de corriente-tensión) de un convertidor fotovoltaico puede expresarse como

$$J(\theta_i) = J_L(\theta_i) - J_{01}(\theta_i) \left[ \exp \frac{V(\theta_i) + J(\theta_i)r_s(\theta_i)}{V_T} - 1 \right] - J_{02}(\theta_i) \left[ \exp \frac{V(\theta_i) + J(\theta_i)r_s(\theta_i)}{2V_T} - 1 \right] \quad [2]$$

- 5 donde  $J_{01}(\theta_i)$  es la densidad de corriente de recombinación con pendiente  $kT$  siendo  $k$  la constante de Boltzman,  $J_{02}(\theta_i)$  es la densidad de corriente de recombinación con pendiente  $2kT$ ,  $V_T$  es el potencial térmico y  $r_s(\theta_i)$  la resistencia serie. Todas ellas dependen del ángulo que forme el cono de luz con la normal. Además,  $J_{01}(\theta_i)$  depende, entre otros, de los espesores y dopajes de las capas semiconductoras, en tanto que  $J_{02}(\theta_i)$  depende, entre otras,
- 10 de la recombinación en el perímetro que, a su vez, depende de la relación perímetro/área del convertidor fotovoltaico.

La resistencia serie está compuesta de varios términos donde varios de ellos pueden ser función del ángulo  $\theta_i$ . Básicamente, puede expresarse como:

$$r_s = r_{FC} + r_L + r_{BC} + r_V + r_G \quad [3]$$

- 15 donde  $r_L$  es la resistencia al flujo lateral de corriente;  $r_V$  es la resistencia al flujo vertical de corriente;  $r_G$ , es la contribución de la malla de metalización frontal;  $r_{BC}$ , es la contribución del contacto trasero y  $r_{FC}$ , la contribución del contacto frontal. Por tanto, la resistencia serie, por lo variado de sus orígenes, depende de la forma del convertidor (circular, cuadrado, rectangular, etc.), de la forma concreta de la malla de metalización, del tamaño
- 20 del dispositivo, de espesores y dopajes de las capas semiconductoras, de la conductividad de los metales y de sus espesores y de la resistencia específica de los contactos.

- Con ayuda de la ecuación [3], la ecuación [2] puede resolverse para obtener la característica de iluminación  $J(\theta_i) - V(\theta_i)$ . A partir de ella, la eficiencia para cualquier cono de luz puede calcularse. En el caso de iluminación perpendicular u oblicua los cálculos se
- 25 simplifican notablemente, ya que no existe dependencia con el ángulo  $\theta_i$  (iluminación perpendicular) o, aún existiendo, no es preciso integrar en la ecuación [1] para dicho ángulo (iluminación oblicua). El modelo incorpora el caso general en que la luz (cono de



luz con el espectro correspondiente a cada caso particular) llegue al convertidor procedente de un medio incidente distinto al aire (es decir, con cualquier índice refracción). Esta posibilidad de cálculo es especialmente importante para convertidores fotovoltaicos que formen parte de sistemas más complejos y para lo cual tengan que ser encapsulados con epoxis o siliconas. Tal es el caso, por ejemplo, de los sistemas fotovoltaicos de concentración basados en óptica anidólica en los que el convertidor fotovoltaico se une al concentrador óptico mediante siliconas, epoxis, resinas o similares, como ocurre en aplicaciones en que la fuente luminosa es solar o calorífica.

La tremenda ventaja de este modelo es que se puede maximizar la función de la eficiencia mediante métodos de cálculo multidimensionales, de manera que se pueden determinar los valores de varios parámetros de diseño del convertidor (estructura semiconductora de compuestos III-V, contactos óhmicos, geometría, malla de metalización y capas antireflectantes) que hacen máximo su rendimiento. A esta operación se la llama optimización multivariable.

Todo este procedimiento de cálculo se puede incorporar en un programa informático que lleve a cabo la ingente cantidad de cálculos necesarios en sólo unos segundos. De esta manera, suponiendo un espectro e intensidad luminosa dados y una temperatura de funcionamiento, se pueden obtener los valores óptimos de espesores y dopajes de capas semiconductoras, espesores de capas antirreflectantes, tamaño del convertidor, forma y factor de sombra de la malla de metalización, etc. Es decir, dadas unas condiciones externas de funcionamiento se pueden determinar las características del convertidor fotovoltaico óptimo.

Otra utilidad añadida se debe a su adaptación a cada tecnología específica de fabricación. En un convertidor fotovoltaico existen parámetros con valores óptimos (como los anteriormente citados). Por ejemplo, el factor de sombra conviene que sea lo menor posible desde el punto de vista de maximizar la luz que entra al convertidor pero, simultáneamente, es deseable que sea lo mayor posible para disminuir la resistencia serie. De este compromiso surge un valor óptimo del factor de sombra. Adicionalmente, existen otros parámetros cuyo mejor valor es el máximo o el mínimo que se pueda conseguir. Por ejemplo, interesa que la resistencia específica de contacto sea lo más pequeña posible. De

igual forma, interesa que la conductividad de los metales de los contactos sea la mayor posible. Obviamente, tanto los valores óptimos (resultantes de un compromiso) como los máximos y mínimos, están limitados en numerosas ocasiones por la tecnología disponible. Por tanto, los valores alcanzables tecnológicamente condicionan al resto de la estructura del convertidor. Pues bien, el diseño aquí presentado permite incorporar estas situaciones,

5      posibilitando una planificación del proceso industrial. En consecuencia, para la determinación del diseño óptimo hay que conocer, en primer lugar, la mayor parte de los parámetros característicos de la tecnología para, a continuación, calcular los valores óptimos de otros parámetros.

10      Así por ejemplo, el procedimiento adecuado para determinar el factor de sombra de la malla de metalización frontal necesita, primeramente, conocer los valores de la resistencia específica de contacto, de la conductividad del metal y del ancho de dedo que se obtienen con una determinada tecnología para, a continuación, calcular espesores y dopajes óptimos de las capas semiconductoras, así como el factor de sombra óptimo de la

15      malla. Este proceso permite obtener convertidores más eficientes que los obtenidos con el proceso que habitualmente se ha utilizado y que consiste en determinar directamente el factor de sombra con tan sólo conocer la intensidad luminosa incidente. En conclusión, el diseño aquí propugnado permite determinar las características del convertidor fotovoltaico que consigue la mayor eficiencia para una tecnología determinada y unas condiciones

20      externas dadas.

Obviamente, el modelo permite refinamientos adicionales, como la inclusión de la resistencia serie del busbar y de los terminales de contacto, así como el efecto del diodo oscuro bajo el busbar. No obstante, los resultados de la optimización no se ven modificados sustancialmente, por lo que en aras de la simplicidad no se han incluido en

25      esta descripción.

Uno de los resultados más novedosos del diseño óptimo es el tamaño de los convertidores fotovoltaicos que es del orden de los milímetros cuadrados, llegando incluso a estar por debajo del milímetro cuadrado, por ejemplo, para intensidades luminosas de 1000 o más soles en el caso de arseniuro de galio (GaAs). Por tanto, para acotar el tamaño

30      óptimo de los convertidores que sirva para diferentes compuestos III-V e intensidades

luminosas, puede decirse que está comprendido en el rango que va de las décimas a las decenas de milímetros cuadrados. Estos tamaños tan pequeños son completamente ajenos a los que fabrica actualmente la industria fotovoltaica (que son típicamente de varios centímetros cuadrados o incluso de decenas y centenas de centímetros cuadrados), por lo que es necesario un replanteamiento del proceso de fabricación. Nuestra propuesta para fabricar células solares con semiconductores III-V con una tamaño tan reducido es utilizar técnicas y procesos de la industria microelectrónica y optoelectrónica ya que: a) el tamaño alrededor del milímetro cuadrado encaja muy bien con sus pautas de fabricación y b) los semiconductores III-V son muy bien conocidos, habiendo dado lugar a dispositivos con un coste reducido. Estas dos características le son ajenas a la industria fotovoltaica actual.

#### BREVE EXPLICACION DEL DIBUJO

En la figura 1 se muestra una sección de un convertidor fotovoltaico (A) que consta de varias capas semiconductoras (desde la 3 a la n-1). La capa n es el sustrato y puede ser un semiconductor III-V u otro tipo de semiconductor como germanio o silicio, o incluso un sustrato no semiconductor como soportes cerámicos, cristales u otro similar sobre el que se apilen las capas semiconductoras. El convertidor fotovoltaico (A) está en contacto por su parte superior con un medio (1) que tiene un índice de refracción dado. La luz llega en forma de cono (región sombreada) desde el medio incidente (1) hasta el convertidor fotovoltaico (A). Dicho cono forma un ángulo  $\theta_i$  con la normal al convertidor (A). El cono de luz se modela como un conjunto de rayos de luz con diferentes longitudes de onda ( $\lambda$ ) y cada rayo (B) forma un ángulo  $\theta_1$  con la normal al convertidor y transporta una determinada potencia luminosa.

La luz atraviesa el sistema de capas antirreflectantes (2) para llegar a las capas semiconductoras fotoactivas (3 a n-1). El rayo tomado como ejemplo (B) no atraviesa las capas perpendicularmente, sino de forma oblicua (debido a la refracción), de manera que su recorrido es mayor (flechas oblicuas de una sola punta), formando un ángulo con la normal  $\theta_3, \theta_4$ , etc., en cada capa. En consecuencia, estos recorridos que llamamos espesores ópticos (flechas oblicuas de dos puntas), han de sustituir a los espesores de capa (flechas verticales de dos puntas) en la expresión de la eficiencia cuántica.

Esta situación se da para todas las capas semiconductoras del convertidor que sean de distinto material (como la 3 y la 4) excepto en el caso de que dos capas contiguas sean del mismo material (como la 4 y la 5) en cuyo caso no hay refracción. El proceso se completa cuando una vez atravesadas todas las capas la luz llega al sustrato (n). Por  
 5 simplicidad no se ha dibujado el contacto metálico frontal ni el trasero.

#### MODO DE REALIZACION

En consecuencia, un posible modo de fabricación consistiría en: a) el crecimiento de la estructura semiconductor a base de compuestos III-V sobre un sustrato por  
 10 tecnologías como MOCVD, LPE o MBE, b) depósito del contacto metálico trasero mediante evaporación y tratamiento térmico para la formación del contacto óhmico, c) proceso fotolitográfico para la definición de los numerosos convertidores fotovoltaicos sobre una misma oblea semiconductor, así como de la forma de la malla frontal de cada uno de ellos, d) depósito del contacto metálico frontal mediante evaporación, lift-off y  
 15 tratamiento térmico para la formación del contacto óhmico, e) depósito de las capas antirreflectantes, f) separación de los convertidores contenidos en una misma oblea mediante serrado (sawing), corte con punta de diamante, clivado u otras técnicas similares; es recomendable un ataque de mesas previo para reducir los efectos del dañado por corte. Una vez obtenidos numerosos convertidores fotovoltaicos de una oblea, cada uno de ellos  
 20 puede encapsularse mediante: g) fijación del convertidor a través de su contacto posterior a un soporte mediante epoxi o pasta de soldadura, y h) conexión del contacto frontal mediante soldadura de hilo (wire bonding), pick and place, flip-chip, multichip-module u otras similares. Una vez encapsulado, el convertidor podría unirse a un concentrador óptico mediante siliconas, epoxis, resinas u otras similares.

25 En esta patente se considera como fotolitografía a cualquier técnica con la que se define un motivo o dibujo sobre la superficie semiconductor para realizarse a continuación procesos como metalización, ataque químico, etc. La característica de la fotolitografía es la utilización de compuestos sensibles a una radiación de una cierta longitud de onda, como ocurre por ejemplo en la litografía óptica, la de rayos x, la micro y  
 30 nanolitografía, etc.

Como consecuencia del diseño óptimo pueden relajarse, o incluso, suprimirse algunos procesos hasta ahora necesarios. Por ejemplo, puede eliminarse la electrólisis de la malla frontal con la que se consigue aumentar el espesor de los dedos de la malla frontal y, en consecuencia, se reduce la resistencia serie. A cambio, basta evaporar un espesor del  
5 contacto frontal de algunas décimas de micra o, si es preciso, de algunas micras para lo cual se pueden utilizar algunos tipos de fotorresinas negativas que permiten conseguir varias micras de espesor de metal sin que el lift-off se vea dificultado.

Tanto el diseño específico como el procedimiento de fabricación descritos para fuentes solares y para fuentes caloríficas pueden aplicarse tanto a convertidores  
10 fotovoltaicos de una sola unión p-n semiconductor (monounión) como a los formados por varias uniones de semiconductores diferentes (multiunión), que suelen llamarse convertidores o células tandem. Estas estructuras son de gran importancia ya que están llamadas a ser el futuro de los convertidores fotovoltaicos, puesto que son capaces de conseguir eficiencias más elevadas que las monounión al aprovechar mejor el espectro de  
15 la luz incidente. También pueden aplicarse a convertidores fotovoltaicos con conexión monolítica en serie, como los utilizados en sistemas de telealimentación por fibra óptica, para aumentar el voltaje de salida. Por último, esta invención es de aplicación también para obtener convertidores termofotovoltaicos en los que el material semiconductor que los forman y su diseño se adaptan al espectro infrarrojo proveniente de una fuente de calor.  
20 Los convertidores termofotovoltaicos también pueden ser monounión o multiunión (para, al igual que en el caso solar, lograr una mayor eficiencia al aprovechar mejor el espectro infrarrojo), y pueden tener conexión monolítica en serie o no.

Por consiguiente, los convertidores fotovoltaicos descritos en esta invención tienen tres campos de interés industrial: a) la energía solar fotovoltaica para la que el espectro es  
25 el procedente del sol, en donde los convertidores han de unirse a concentradores ópticos que incrementen la intensidad luminosa del sol, de manera que si se consiguen eficiencias elevadas y costes reducidos, el coste final de la energía eléctrica producida sería competitivo con la obtenida a partir de combustibles fósiles; b) la producción de energía eléctrica a partir de fuentes caloríficas como ocurre en las fábricas de acero, aluminio,  
30 vidrio, etc. También se está abriendo un amplio mercado en aplicaciones aisladas, a las

que no llega el suministro eléctrico convencional, pero donde sí existen estufas u otras fuentes de calor basadas en la combustión a partir de las que se podría generar electricidad; y c) la conversión de luz canalizada por fibra óptica y procedente de un láser u otra fuente de luz monocromática. Estos sistemas llamados de telealimentación por fibra óptica consiguen enviar energía eléctrica a lugares en los que su transporte está contraindicado por problemas de aislamiento galvánico, chispas, etc. Ejemplos son la alimentación de sensores y electrónica en aplicaciones como minas, redes de alta tensión, industrias químicas y petroquímicas, centrales nucleares, aviones, cohetes, satélites, biomedicina y otras.

- 10 Las disposiciones anteriormente indicadas son susceptibles de modificaciones de detalle, en tanto no alteren su principio fundamental como, por ejemplo, la utilización de distintas clases de sustratos sobre los que realizar el crecimiento de la estructura semiconductor. Así, el sustrato puede ser un semiconductor III-V u otro tipo de semiconductor como germanio o silicio, o incluso un sustrato no semiconductor como
- 15 soportes cerámicos, cristales, etc.

## REIVINDICACIONES

1. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica **caracterizado** porque a) sus capas semiconductoras son de compuestos III-V, b) se utiliza fotolitografía para la definición de los numerosos convertidores fotovoltaicos sobre una misma oblea semiconductora, así como para la forma de la malla frontal de cada uno de ellos, c) su tamaño está comprendido en el rango que va de las décimas a las decenas de milímetros cuadrados, y d) la separación de los convertidores de una misma oblea se realiza por serrado (sawing) o por corte con punta o por clivado u otras técnicas similares.
2. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica, según la reivindicación 1 **caracterizado** porque el sustrato puede ser un semiconductor III-V u otro tipo de semiconductor como germanio o silicio, o incluso un sustrato no semiconductor como soportes cerámicos, cristales u otro similar.
3. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica según reivindicaciones 1 y 2 **caracterizado** porque transforma en energía eléctrica el cono de luz incidente, con el espectro correspondiente a cada caso particular y procedente de un medio con cualquier índice de refracción.
4. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica, según reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** por su uso en aplicaciones de energía solar fotovoltaica, para las que el espectro particular es el procedente del sol, y en las que el convertidor se une a un concentrador óptico que incrementa la intensidad luminosa procedente del sol.
5. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica, según reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque el convertidor fotovoltaico se une al concentrador óptico mediante siliconas, epoxis, resinas o similares.
6. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas

- fabricado con tecnología optoelectrónica, según reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** por producir energía eléctrica a partir de fuentes caloríficas (estufas y similares) y cuyo espectro particular es, principalmente, infrarrojo.
- 5 7. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica, según reivindicaciones 1, 2, 3 y 6, **caracterizado** porque el convertidor fotovoltaico, se une al concentrador óptico mediante siliconas, epoxis, resinas o similares.
- 10 8. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica, según reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** por realizar la conversión de luz canalizada por fibra óptica y procedente de un láser en energía eléctrica para aplicaciones en ambientes de riesgo como alimentación de sensores y electrónica en aplicaciones como minas, redes de alta tensión, industrias químicas y petroquímicas, centrales nucleares, aviones, cohetes, satélites, biomedina y otras.
- 15 9. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica según reivindicaciones 1 a 5 caracterizado porque su encapsulado se realiza mediante técnicas optoelectrónicas como: a) fijación del convertidor a través de su contacto posterior a un soporte mediante epoxi o pasta de soldadura, y b) conexión del contacto frontal mediante soldadura de hilo (wire bonding), pick and place, flip-chip, multichip-module u otras similares.
- 20 10. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica, según reivindicaciones 1 a 4; ó 1 a 5; ó 1 a 5 y 9, **caracterizado** porque consta de una unión semiconductor.
- 25 11. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica, según reivindicaciones 1 a 4; ó 1 a 5; ó 1 a 5 y 9, **caracterizado** porque consta de varias uniones semiconductoras.
12. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica, según las reivindicaciones 1 a 3 y 6, **caracterizado** por poseer una conexión monolítica en serie para aumentar el voltaje de



salida.

13. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica, según reivindicaciones 1 a 3 y 6, **caracterizado** porque consta de una sola unión semiconductora.
- 5 14. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica, según reivindicaciones 1 a 3 y 6, **caracterizado** porque consta de varias uniones semiconductoras.
15. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica, según reivindicaciones 1 a 3 y 8,  
10 **caracterizado** por poseer una conexión monolítica en serie para aumentar el voltaje de salida.
16. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica según reivindicaciones 1, 2, 3, 6 y 7 caracterizado porque su encapsulado se realiza mediante técnicas optoelectrónicas  
15 como: a) fijación del convertidor a través de su contacto posterior a un soporte mediante epoxi o pasta de soldadura, y b) conexión del contacto frontal mediante soldadura de hilo (wire bonding), pick and place, flip-chip, multichip-module u otras similares.
17. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas  
20 fabricado con tecnología optoelectrónica según reivindicaciones 1 a 16 **caracterizado** porque los parámetros de diseño (estructura semiconductora de compuestos III-V, contactos óhmicos, geometría, malla de metalización y capas antireflectantes) se calculan mediante optimización multivariable.

## REIVINDICACIONES MODIFICADAS

[recibidas por la oficina Internacional el 10 de octubre de 2001 (10.10.01);  
reivindicación 1 modificada; otras reivindicaciones no cambian (1 página)]

1. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas  
fabricado con tecnología optoelectrónica caracterizado porque: a) sus capas  
semiconductoras son de compuestos III-V, b) funciona bajo densidades de potencia  
5 luminosas mayores que 1 W/cm<sup>2</sup>, c) su tamaño está comprendido en el rango que va  
de las décimas a las decenas de milímetros cuadrados, d) como consecuencia de su  
tamaño reducido se utiliza fotolitografía para la definición de los numerosos  
convertidores fotovoltaicos sobre una misma oblea semiconductor, así como para la  
forma de la malla frontal de cada convertidor y e) finalmente, la separación de los  
10 convertidores de una misma oblea se realiza por serrado (sawing) o por corte con  
punta o por clivado u otras técnicas similares.
2. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas  
fabricado con tecnología optoelectrónica, según la reivindicación 1 **caracterizado**  
porque el sustrato puede ser un semiconductor III-V u otro tipo de semiconductor  
15 como germanio o silicio, o incluso un sustrato no semiconductor como soportes  
cerámicos, cristales u otro similar.
3. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas  
fabricado con tecnología optoelectrónica según reivindicaciones 1 y 2 **caracterizado**  
porque transforma en energía eléctrica el cono de luz incidente, con el espectro  
20 correspondiente a cada caso particular y procedente de un medio con cualquier índice  
de refracción.
4. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas  
fabricado con tecnología optoelectrónica, según reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado**  
por su uso en aplicaciones de energía solar fotovoltaica, para las que el espectro  
25 particular es el procedente del sol, y en las que el convertidor se une a un concentrador  
óptico que incrementa la intensidad luminosa procedente del sol.
5. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas  
fabricado con tecnología optoelectrónica, según reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado**  
porque el convertidor fotovoltaico se une al concentrador óptico mediante siliconas,  
30 epoxis, resinas o similares.

1/1

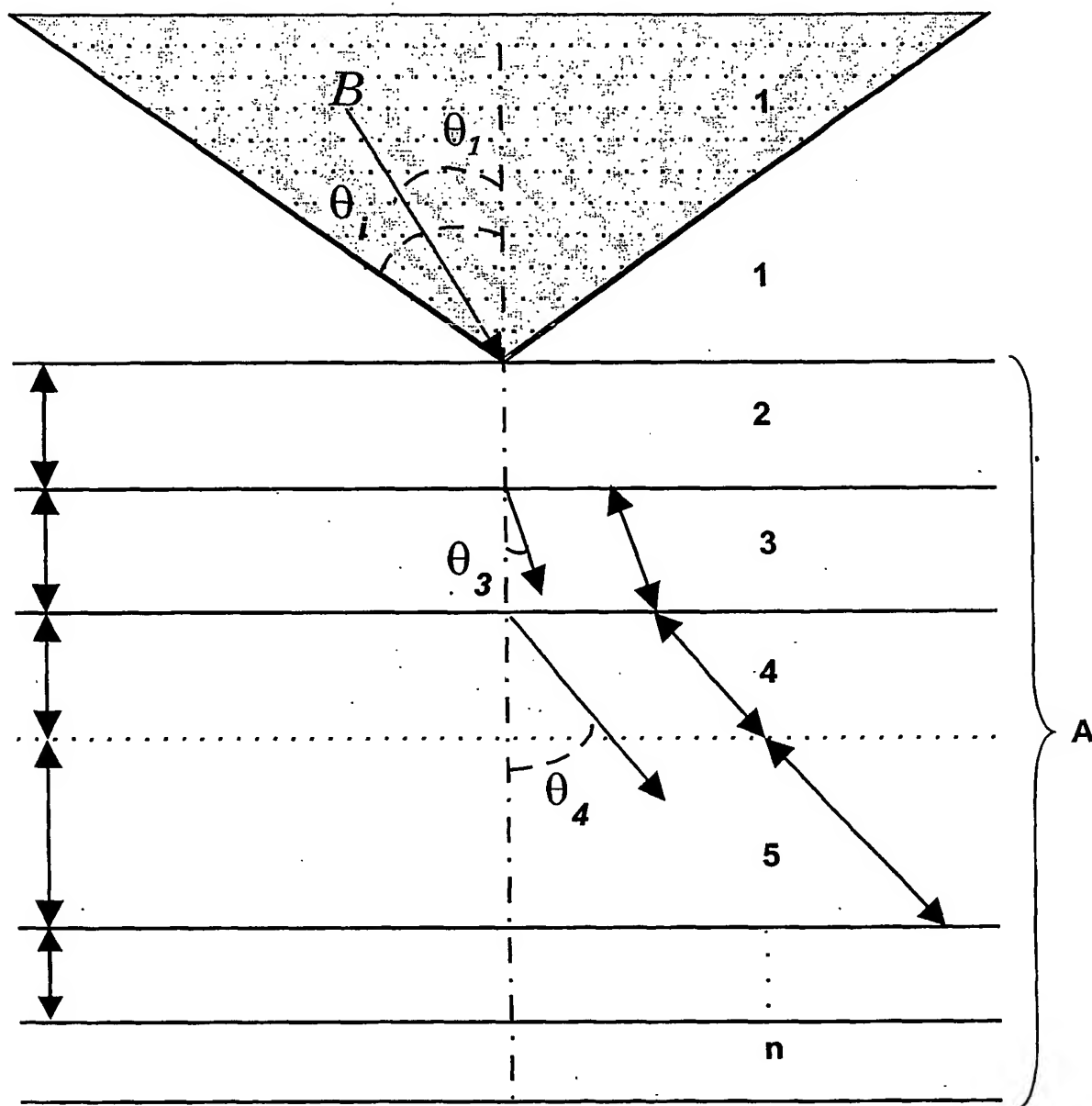


Fig. 1

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/ES01/00167

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

**IPC7** H 01 L 31/04, 31/042, 31/052, 31/0328, 31/0352

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

**IPC7** H 01 L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPODOC, WIPL, PAJ, CIBEPAT

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No
Y	JP 09-232609 A (NIPPON TELEGR & TELEPH CORP) 05.09.1997 (resumen) World Patents Index [en línea]. Londres (Reino Unido): Derwent Publications, Ltd. [recuperado el 18.07.2001]. Recuperado de: Questel/Orbit, París (Francia). DW 9746, N° de acceso 97-495996	1-4, 6, 10-14
Y	US 5652436 A (STONER, B. et al.) 29.07.1997, Column 2, line 39-column 4, line 3; column 4, lines 30-44;	1-4, 6, 10-14
A	column 5, line 56-column 6, line 17; column 7, lines 45-63; column 8, line 52-column 9, line 10; figures.	5, 7-8, 15-16
Y	JP 03-076164 A (ASAHI GLASS CO LTD) 02.04.1991 (abstract) World Patents Index [en línea]. Londres (Reino Unido): Derwent Publications, Ltd. [recuperado el 18.07.2001]. Recuperado de: Questel/Orbit, París (Francia). DW 9119, N° de acceso 91-137606	1
A		2-4, 6, 10-14
Y	JP 05-343721 A (HITACHI LTD) 24.12.1993 (abstract) World Patents Index [en línea]. Londres (Reino Unido): Derwent Publications, Ltd. [recuperado el 20.07.2001]. Recuperado de: Questel/Orbit, París (Francia). DW 9405, N° de acceso 94-038673	1
A		2-4, 6, 10-14

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date  
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

07 August 2001 (07.08.01)

Date of mailing of the international search report

10 August 2001 (10.08.01)

Name and mailing address of the ISA/

Authorized officer

### Information on patent family members

PCT/ES01/00167

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 09-232609 A	05.09.1997	NONE	
US 5652436 A	29.07.1997	NONE	
JP 03-076164 A	02.04.1991	NONE	
JP 05-343721 A	24.12.1993	NONE	

# INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional n°  
PCT/ES01/00167

## A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

CIP<sup>7</sup> H 01 L 31/04, 31/042, 31/052, 31/0328, 31/0352

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y la CIP.

## B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima consultada (sistema de clasificación, seguido de los símbolos de clasificación)

CIP<sup>7</sup> H 01 L

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda internacional (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

EPODOC, WIPL, PAJ, CIBEPAT

## C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones n°
Y	JP 09-232609 A (NIPPON TELEGR & TELEPH CORP) 05.09.1997 (resumen) World Patents Index [en línea]. Londres (Reino Unido): Derwent Publications, Ltd. [recuperado el 18.07.2001]. Recuperado de: Questel/Orbit, París (Francia). DW 9746, N° de acceso 97-495996	1-4, 6, 10-14
Y A	US 5652436 A (STONER, B. et al.) 29.07.1997, Columna 2, línea 39-columna 4, línea 3; columna 4, líneas 30-44; columna 5, línea 56-columna 6, línea 17; columna 7, líneas 45-63; columna 8, línea 52-columna 9, línea 10; figuras.	1-4, 6, 10-14 5, 7-8, 15-16
Y A	JP 03-076164 A (ASAHI GLASS CO LTD) 02.04.1991 (resumen) World Patents Index [en línea]. Londres (Reino Unido): Derwent Publications, Ltd. [recuperado el 18.07.2001]. Recuperado de: Questel/Orbit, París (Francia). DW 9119, N° de acceso 91-137606	1 2-4, 6, 10-14
Y A	JP 05-343721 A (HITACHI LTD) 24.12.1993 (resumen) World Patents Index [en línea]. Londres (Reino Unido): Derwent Publications, Ltd. [recuperado el 20.07.2001]. Recuperado de: Questel/Orbit, París (Francia). DW 9405, N° de acceso 94-038673	1 2-4, 6, 10-14



En la continuación del recuadro C se relacionan otros documentos



Los documentos de familia de patentes se indican en el anexo

\* Categorías especiales de documentos citados:

"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.

"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.

"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).

"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.

"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.

"T" documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.

"X" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.

"Y" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.

"&" documento que forma parte de la misma familia de patentes.

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional. 07.08.2001

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional

10 AGO 2001

10.08.01

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional

OEPM

Funcionario autorizado:

Óscar González Peñalba

